

⑤

Int. Cl. 2:

G 06 K 9/06

① **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



DE 28 13 157 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 28 13 157

⑫

Aktenzeichen:

P 28 13 157.9

⑬

Anmeldetag:

25. 3. 78

⑭

Offenlegungstag:

27. 9. 79

⑮

Unionspriorität:

⑯ ⑰ ⑱

—

⑥

Bezeichnung:

Verfahren zur automatischen Musterauswertung mit Hilfe schneller Bildverarbeitung und Schaltung zur Durchführung des Verfahrens

⑦

Anmelder:

Dornier GmbH, 7990 Friedrichshafen

⑧

Erfinder:

Burkhardt, Hans, Dr.-Ing., 7500 Karlsruhe; Metzdorff, Walter, Dr.-Ing., 7990 Friedrichshafen; Schütte, Holger, Dipl.-Ing., 7758 Stetten

DE 28 13 157 A 1

Reg. 2436

P a t e n t a n s p r ü c h e :

- 1, Verfahren zur eindimensionalen automatischen Musterauswertung, insbesondere Meßdatenauswertung in technischen und medizinischen Anwendungsgebieten, mit Hilfe schneller Datenverarbeitung, dadurch gekennzeichnet, dass die digitalisierten Daten als Eingangsgrosse für folgende Transformation verwendet werden:

$$\begin{aligned} x_{2i}^{(r+1)} &= f_1(x_i^{(r)}, x_{i+N/2}^{(r)}) \\ x_{2i+1}^{(r+1)} &= f_2(x_i^{(r)}, x_{i+N/2}^{(r)}) \end{aligned} \quad \begin{array}{c} N/2-1 \\ | \\ i=0 \end{array} \quad \begin{array}{l} r = 0, 1, \dots, n-1 \\ N = 2^n, \end{array}$$

$$\underline{x}^{(0)} = \underline{x}, \quad \tilde{\underline{x}} = \underline{x}^{(n-1)}$$

worin

\underline{x}	Original-Muster
$\tilde{\underline{x}}$	transformiertes Muster
$N=2^n$	Dimension von \underline{x}
r	Nummer des Verarbeitungsschrittes
n	Anzahl der Verarbeitungsschritte
$f_1(A, B)$	Boolesche und-Verknüpfung $A \wedge B$
$f_2(A, B)$	Boolesche oder-Verknüpfung $A \vee B$

bedeuten, dass einige strukturspezifische Ergebniskoeffizienten dieser Transformation mit Hilfe einer an sich bekannten Klassifikation ausgewählt werden, wobei der Vergleich zwischen dem Muster und dem aktuellen Datensatz anhand der ausgewählten Koeffizienten vorgenommen wird, dass das Maß für die Ähnlichkeit zweier Muster ein Distanzmaß in Form eines Zahlenwertes ist, z.B. die euklidische Distanz, und dass die Entscheidung über das Vorhandensein des gesuchten Musters im aktuellen Datensatz mit Hilfe einer Schwellwertabfrage getroffen wird.

2. Verfahren zur zwei-dimensionalen automatischen Musterauswertung, insbesondere Luftbildauswertung sowie allgemeine Bildauswertung in technischen, kaufmännischen und medizinischen Bereichen, mit Hilfe schneller Bildverarbeitung, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines abbildenden Sensors mit anschliessender Analog-/Digitalwandlung ein digitalisiertes Bild erzeugt wird, das als Eingangsgrösse für folgende Transformation verwendet wird:

$$\begin{array}{lcl}
 x_{2i, 2j}^{(r+1)} & = f_1 \left(f_1(x_{i,j}^{(r)}, x_{i+N/2,j}^{(r)}), f_1(x_{i,j+N/2}^{(r)}, x_{i+N/2,j+N/2}^{(r)}) \right) & \begin{array}{c} N/2-1 \\ \vdots \\ 0 \end{array} \\
 x_{2i+1, 2j}^{(r+1)} & = f_1 \left(f_2(\cdot, \cdot), f_2(\cdot, \cdot) \right) & \begin{array}{c} N/2-1 \\ \vdots \\ 0 \end{array} \\
 x_{2i, 2j+1}^{(r+1)} & = f_2 \left(f_1(\cdot, \cdot), f_1(\cdot, \cdot) \right) & \begin{array}{c} N/2-1 \\ \vdots \\ 0 \end{array} \\
 x_{2i+1, 2j+1}^{(r+1)} & = f_2 \left(f_2(\cdot, \cdot), f_2(\cdot, \cdot) \right) & \begin{array}{c} N/2-1 \\ \vdots \\ 0 \end{array}
 \end{array}$$

$$r = 0, 1, \dots, n-1 ; \quad N = 2^n$$

$$\underline{x}^{(0)} = \underline{x}, \quad \underline{\tilde{x}} = \underline{x}^{(n-1)},$$

worin

\underline{x}	Original-Muster
$\underline{\tilde{x}}$	transformiertes Muster
$N = 2^n$	Dimension von \underline{x}
r	Nummer des Verarbeitungsschrittes
n	Anzahl der Verarbeitungsschritte
$f_1(A,B)$	Boolesche und-Verknüpfung $A \wedge B$
$f_2(A,B)$	Boolesche oder-Verknüpfung $A \vee B$

bedeuten, dass einige strukturspezifische Ergebniskoeffizienten dieser Transformation mit Hilfe einer an sich bekannten Klassifikation ausgewählt werden, wobei der Vergleich zwischen Muster und aktuellem Bild anhand der ausgewählten Koeffizienten vorgenommen wird, dass das Maß für die Ähnlichkeit zweier Muster ein Distanzmaß in Form eines Zahlenwertes ist, z.B. die euklidische Distanz, und dass die Entscheidung über das Vorhandensein des gesuchten Musters im Bild mit Hilfe einer Schwellwertabfrage getroffen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die eindimensionale Positionsbestimmung eines gesuchten Musters im Datensatz durch Einteilung des aktuellen Datensatzes in einander überlappende Suchintervalle erfolgt und dass das gesuchte Zielintervall durch logisches Abfragen der Suchintervallergebnisse gewonnen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsbestimmung eines gesuchten Objekts im Bild durch Einteilung des aktuellen Bildes in einander überlappende Suchfelder erfolgt und dass das gesuchte Zielfeld durch logisches Abfragen der Suchfelderergebnisse gewonnen wird.
5. Schaltung zur Durchführung der eindimensionalen Transformation von Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Speicherelemente und Boolesche Operatoren (und / oder Gatter) zusammengeschaltet sind, wobei die Anzahl der Speicherelemente und Booleschen Operatoren der Anzahl der Musterpunkte und deren Auflösung entspricht.
6. Schaltung zur Durchführung der zweidimensionalen Transformation von Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Speicherelemente und Boolesche Operatoren (und / oder Gatter) zusammengeschaltet sind, wobei die Anzahl der Speicherelemente der Anzahl der Musterpunkte und deren Auflösung entspricht und die Anzahl der Booleschen Operatoren doppelt so gross ist.

22. März 1978
PaL/Ht.

Verfahren zur automatischen Musterauswertung mit Hilfe schneller
Bildverarbeitung und Schaltung zur Durchführung des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Musterauswertung, insbesondere Luftbildauswertung, mit Hilfe schneller Bildverarbeitung und eine Schaltung zur Durchführung des Verfahrens.

Eine Bildverarbeitung mit dem Ziel einer Mustererkennung wird in der Regel anhand einer digitalisierten flächenhaften Darstellung des zu klassifizierenden Objektes durchgeführt.

Durch einen Wandler (Sensor) wird vom Objekt ein flächenhaft strukturiertes Muster erzeugt (z.B. wird durch eine Videokamera ein Bild zeilenweise in ein Videosignal umgesetzt) und zur digitalen Weiterverarbeitung quantisiert (z.B. wird durch einen A/D-Umsetzer ein Videosignal digitalisiert).

Das so vorverarbeitete Bild wird in einem Bildspeicher abgespeichert. Zum Erkennen eines Zieles ist der Vergleich mit einem Musterbild notwendig. Das kann mit einer der folgenden Methoden

- direkter Bildvergleich
- Bildvergleich mit Hilfe linearer Transformationen (z.B. Fast Fourier Transform, Walsh-Hadamard-Transformation)
- Bildvergleich mit Hilfe nichtlinearer Transformationen (z.B. R-Transformation, M-Transformation)

durchgeführt werden, die anschliessend näher erläutert werden.

Das einfachste und zugleich langsamste Verfahren ist der direkte Vergleich von Bildpunkten in jeder Position.

Dies geschieht in bekannter Weise mit Hilfe der Kreuzkorrelationsfunktion (KKF), bei der die gleich indizierten Bildpunkte des aktuellen Bildes und des Musterbildes multipliziert werden und die Summe gebildet wird. Wird nur eine translatorische Verschiebung des Ziels berücksichtigt - jedoch keine Verdrehung oder Maßstabsänderung - muss jeder Punkt des aktuellen Bildes mit jedem Punkt des Musterbildes verglichen werden. Für die Bildung der Kreuzkorrelationsfunktion werden bei $N \times N$ Bildpunkten dann N^4 Multiplikationen und $\sim N^4$ Additionen benötigt.

Als Ergebnis zeigt das Kreuzkorrelationsmaximum den Grad der Übereinstimmung der beiden Bilder und die Position des Zieles an.

Der für den direkten Bildvergleich notwendige hohe Aufwand ist durch Einführung von Transformationen reduzierbar. Am bekanntesten ist die Fouriertransformation. Nach der Transformation in die Fourierebene werden die Fourierkoeffizienten der jeweiligen Frequenzen miteinander multipliziert und das Ergebnis rücktransformiert. Wie beim direkten Bildvergleich erhält man die Kreuzkorrelationsfunktion (Kreuzkorrelationsmaximum und Position des Ziels), jedoch mit unter Umständen geringerem Rechenaufwand.

Bei $N \times N$ Bildpunkten werden $7 N^3$ Multiplikationen und $7 N^3$ Additionen benötigt.

ORIGINAL REPORTED

Gegenüber der normalen Fourier Transformation ist die Fast Fourier Transform (FFT) durch Ausnutzung von Symmetriebedingungen erheblich schneller. Der Geschwindigkeitsunterschied wächst mit zunehmender Anzahl von Stützpunkten immer schneller. Bei zweidimensionaler Verarbeitung werden bei $N \times N$ Bildpunkten $6 N^2 \lg N + N^3$ Multiplikationen und die gleiche Anzahl Additionen benötigt.

Da der prinzipielle Aufbau der FFT auch für andere schnelle Transformationen typisch ist, soll er hier näher betrachtet werden.

Transformationen lassen sich in Form von Matrizen darstellen. Bei Zerlegung der in der Regel voll besetzten Transformationsmatrix in ein Produkt von mehreren ($\lg N$) Matrizen gelingt es, Matrizen mit überwiegend Nullen zu verwenden.

Für ein Beispiel mit 16 Eingangsgrössen sind für jede Matrix nur 16 Multiplikationen und 16 Additionen notwendig. Die FFT kann für dieses Beispiel als ein 4-stufiger "Graph" dargestellt werden. Die Anzahl der Stufen (N_{Stufen}) wächst in Abhängigkeit von der Anzahl der Eingänge ($N_{\text{Eingänge}}$) nur langsam nach dem Gesetz

$$N_{\text{Stufen}} = \log_2 (N_{\text{Eingänge}}),$$

in unserem Beispiel also $N_{\text{Stufen}} = \log_2 (16) = 4$.

Ausser zur schnellen Berechnung der Kreuzkorrelationsfunktion ist die Fourier Transformation auch zur Merkmalsextrahierung geeignet.

Bei Beschränkung auf die Beträge von wenigen Fourierkoeffizienten wird der Bildvergleich dann in einem reduzierten Merkmalsraum durchgeführt, so dass nicht mehr in den Bildbereich rücktransformiert werden muss. Die Information zur Berechnung der Position des Zieles geht dabei allerdings verloren. Die Auswahl der für die Erkennung des Zieles wichtigen Koeffizienten (Merkmale) setzt statistische Analysen der spezifischen Eigenschaften der Ziele voraus (z.B. durch die Karhunen-Loeve-Transformation).

Die modifizierte Walsh-Hadamard-Transformation (MWHT) gehört zur Gruppe der orthogonalen und linearen Transformationen, für die ähnlich wie bei der Fast Fourier Transform (FFT) ein schneller Algorithmus existiert. Dieser Algorithmus ist rechentechnisch noch günstiger als bei der FFT, weil er keine trigonometrischen Ausdrücke mehr enthält und statt dessen binär- oder ternärwertig ist.

Die jeweiligen Strukturen lassen sich wieder gut als Graph darstellen. Diese Art von Transformationen wurde und wird entwickelt hauptsächlich unter dem Aspekt der Reduzierung der Kanalbreite und der Erhöhung der Störsicherheit bei der Datenübertragung. Daneben ist sie auch zur Merkmalsextrahierung geeignet. Das gilt besonders für das Leistungsspektrum der MWHT, dessen Berechnung zu den nichtlinearen Transformationen gehört. Die Modifizierte Walsh-Hadamard-Transformation (MWHT) ist der Fast Fourier Transform (FFT) ähnlich, jedoch ist der Graph der MWHT nur halb so gross wie der Graph der FFT.

Dies bezieht sich zunächst nur auf die eindimensionale Verarbeitung, da die Transformation für die zweidimensionale Verarbeitung (vollständiges Bild) noch nicht entwickelt ist.

909839/0580

Die R-Transformation gehört zu den nichtlinearen Transformationen, deren Bedeutung im wesentlichen in der Transformation der Bilddaten in den Merkmalsraum liegt. Auf die sonst übliche Möglichkeit zur Rücktransformation wird hier bewusst verzichtet.

Den nichtlinearen Transformationen (Leistungsspektrum der MWHT, R-Transformation und M-Transformation) gemeinsam ist:

a) ein schneller Verarbeitungsgraph mit $ld\ N$ Verarbeitungsstufen.

Die Stufen können auch identisch sein, wobei die Ausgangsdaten wieder auf den Eingang des Graphen geführt werden. Damit kann ein N-stufiger Graph durch eine Stufe, die N-mal durchlaufen wird, realisiert werden.

b) Eine Anzahl sehr einfacher Verbindungen, welche im wesentlichen nur Additionen, Subtraktionen und Betragsbildung enthält. Damit ist auch die Möglichkeit der Integerverarbeitung (Festkommarechnung) gegeben, denn im Unterschied zu Multiplikationen ist hier die Grössenordnungsänderung gering.

Bei der M-Transformation, die sich ausschliesslich auf binäre Daten bezieht, werden logische Operatoren als Verbindungselemente verwendet.

c) Die wesentliche Eigenschaft, dass sie invariant sind gegenüber zyklischen Permutationen.

Die zuletzt genannte Eigenschaft bedeutet, dass die Transformationen von der Lage unabhängige, strukturspezifische Merkmale liefern.

Das bedeutet, dass der Vergleich mit einem einzigen Referenzmuster erfolgt und der Vergleich mit Mustern, die nur translatorisch verschoben sind, total entfällt.

Diese Eigenschaft der Translationsinvarianz kann nur von nicht-linearen Transformationen erfüllt werden.

Der Vergleich zwischen Bild und Muster bezieht sich auf wenige wichtige Merkmale, die frei wählbar sind. Die Auswahl der betreffenden Merkmale erfolgt Off-Line auf empirischem Wege oder mit Hilfe der Karhunen-Loeve-Transformation. Das bedeutet, dass im Merkmalsraum eine Clusteranalyse durchgeführt wird, die die Bedeutung der Merkmale auf Grund ihrer Unterscheidbarkeit (Varianz) erkennt.

Durch die Klassifikation mit Hilfe weniger Merkmale kann der Speicherplatz für das Referenzmuster minimiert werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, automatische Auswertungen von ein- und zweidimensionalen Datenmengen schnell, sicher und mit geringem Aufwand durchzuführen, wobei sich das Auswerteverfahren auf wesentliche Gestaltsinformationen konzentriert und mit Hilfe einer Klassifikation im Merkmalsraum Entscheidungen getroffen werden können.

Diese Aufgabe wird bei der eindimensionalen Datenverarbeitung erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die digitalisierten Daten als Ein-

gangsgrösse für folgende Transformation verwendet werden:

$$\begin{array}{lcl}
 x_{2i}^{(r+1)} = f_1(x_i^{(r)}, x_{i+N/2}^{(r)}) & \begin{array}{c} N/2-1 \\ | \\ i=0 \end{array} & \begin{array}{l} r = 0, 1, \dots, n-1 \\ N = 2^n, \end{array} \\
 x_{2i+1}^{(r+1)} = f_2(x_i^{(r)}, x_{i+N/2}^{(r)}) & & \\
 \underline{x}^{(0)} = \underline{x}, \underline{\tilde{x}} = \underline{x}^{(n-1)} & &
 \end{array}$$

worin

- \underline{x} Original-Muster
- $\underline{\tilde{x}}$ transformiertes Muster
- $N = 2^n$ Dimension von \underline{x}
- r Nummer des Verarbeitungsschrittes
- n Anzahl der Verarbeitungsschritte
- $f_1(A, B)$ Boolesche und-Verknüpfung $A \wedge B$
- $f_2(A, B)$ Boolesche oder-Verknüpfung $A \vee B$

bedeuten, dass einige strukturspezifische Ergebniskoeffizienten dieser Transformation mit Hilfe einer an sich bekannten Klassifikation ausgewählt werden, wobei der Vergleich zwischen dem Muster und dem aktuellen Datensatz anhand der ausgewählten Koeffizienten vorgenommen wird, dass das Maß für die Ähnlichkeit zweier Muster ein Distanzmaß in Form eines Zahlenwertes ist, z.B. die euklidische Distanz, und dass die Entscheidung über das Vorhandensein des gesuchten Musters im aktuellen Datensatz mit Hilfe einer Schwellwertabfrage getroffen wird.

Die Aufgabe wird bei der zwei-dimensionalen Datenverarbeitung (Bildverarbeitung) erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass mittels eines abbildenden Sensors mit anschliessender Analog-/Digitalwandlung ein digitalisiertes Bild erzeugt wird, das als Eingangsgrösse für folgende Transformation verwendet wird:

$$\begin{array}{lcl}
 x_{2i,2j}^{(r+1)} & = f_1 \left[f_1(x_{i,j}^{(r)}, x_{i+N/2,j}^{(r)}), f_1(x_{i,j+N/2}^{(r)}, x_{i+N/2,j+N/2}^{(r)}) \right] & \begin{array}{c} N/2-1 \\ | \\ j=0 \end{array} \\
 x_{2i+1,2j}^{(r+1)} & = f_1 \left[f_2(\cdot, \cdot), f_2(\cdot, \cdot) \right] & \begin{array}{c} N/2-1 \\ | \\ i=0 \end{array} \\
 x_{2i,2j+1}^{(r+1)} & = f_2 \left[f_1(\cdot, \cdot), f_1(\cdot, \cdot) \right] & \\
 x_{2i+1,2j+1}^{(r+1)} & = f_2 \left[f_2(\cdot, \cdot), f_2(\cdot, \cdot) \right] &
 \end{array}$$

$$r = 0, 1, \dots, n-1 ; N = 2^n$$

$$\underline{x}^{(0)} = \underline{x} , \quad \underline{\tilde{x}} = \underline{x}^{(n-1)} ,$$

worin

- \underline{x} Original-Muster
- $\underline{\tilde{x}}$ transformiertes Muster
- $N = 2^n$ Dimension von \underline{x}
- r Nummer des Verarbeitungsschrittes
- n Anzahl der Verarbeitungsschritte
- $f_1(A,B)$ Boolesche und-Verknüpfung $A \wedge B$
- $f_2(A,B)$ Boolesche oder-Verknüpfung $A \vee B$

bedeuten, dass einige strukturspezifische Ergebniskoeffizienten dieser Transformation mit Hilfe einer an sich bekannten Klassifikation ausgewählt werden, wobei der Vergleich zwischen Muster und aktuellem Bild anhand der ausgewählten Koeffizienten vorgenommen wird, dass das Maß für die Ähnlichkeit zweier Muster ein Distanzmaß in Form eines Zahlenwertes ist, z.B. die euklidische Distanz, und dass die Entscheidung über das Vorhandensein des gesuchten Musters im Bild mit Hilfe einer Schwellwertabfrage getroffen wird.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind zum Gegenstand von Unteransprüchen gemacht worden.

Die Vorteile der Erfindung liegen in der Verringerung des Hardware-Aufwands und der Berechnungszeit. Bei Realisierung der oben angegebenen erfindungsgemässen Transformation durch einen hochintegrierten Baustein, der nur Elemente der Einzelbitverarbeitung enthält, lässt sich z.B. bei einem Bild mit 256 x 256 Bildpunkten eine Aufwandsverringerung gegenüber der Kreuzkorrelationsfunktion mit Hilfe der Fast Fourier Transformation um mehr als den Faktor 100 nachweisen. Eine Echtzeitrealisierung bezogen auf 25 Bilder pro Sekunde ist erreichbar.

Eine erläuternde Darstellung des erfindungsgemässen ein- und zweidimensionalen Transformationsverfahrens wird anhand von Figuren nachfolgend beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Signalflussdiagramm der erfindungsgemässen eindimensionalen Transformation

Fig. 2 ein Schaltbild der erfindungsgemässen eindimensionalen Transformation

- Fig. 3 ein Schaltbild der Verbindung zweier Musterelemente bei einer Auflösung von 6 Bit
- Fig. 4 ein prinzipielles Signalflussdiagramm der erfindungsgemässen zweidimensionalen Transformation
- Fig. 5 einen Teil des Schaltbildes der erfindungsgemässen zweidimensionalen Transformation
- Fig. 6 ein Beispiel für ein binäres Muster
- Fig. 7 ein Beispiel für ein Graustufen-Muster

Die erfindungsgemässe ein- und zweidimensionale Transformation dient der Kennzeichnung wesentlicher Gestaltsinformationen unabhängig von einer zufälligen Verschiebung. Die eindimensionale Transformation bezieht sich auf die Verarbeitung eindimensionaler Datenmengen, z.B. Meßdaten als Funktion der Zeit in technischen und medizinischen Anwendungsgebieten. Ein für 8 Musterelemente ausgeführtes Signalflussdiagramm ist in Fig. 1 dargestellt, wobei jeder Pfeil einem Vektor mit einer Auflösung von m Bit entspricht. Die 8 Musterelemente x_0-x_7 werden durch $\log_2(8) = 3$ identische Stufen verarbeitet. Die transformierten Koeffizienten x_0-x_7 können auch gewonnen werden, indem dieselbe Stufe dreimal durchlaufen wird. Dies wird aus dem Schaltbild in Fig. 2 deutlich. Die angegebene Schaltung enthält genauso viele Speicherzellen und Gatter wie Musterelemente, wenn man einmal rein binäre Muster (Auflösung 1 Bit) betrachtet. Bei Graustufenmustern mit N Musterelementen und einer Auflösung von m Bit erhöht sich der Aufwand auf $N \cdot m$ Speicherzellen und Gatter. Das Schaltbild der Verbindung zweier Musterelemente bei einer Auflösung von $m = 6$ Bit ist in Fig. 3 dargestellt. Bei $N = 8$ Musterelementen mit jeweils $m = 6$ Bit werden daher 48 Speicherzellen und Gatter benötigt. Der Zeitverbrauch durch das Verknüpfungsnetz beträgt pro Umlauf lediglich eine Gatterschaltzeit.

Die zweidimensionale Transformation bezieht sich auf die Bildauswertung in technischen, kaufmännischen und medizinischen Bereichen. Da eine graphische Darstellung des vollständigen Signalflussdiagramms bei der zweidimensionalen Transformation völlig unübersichtlich wäre, wollen wir zunächst nur die Koeffizientenzuordnungen erläutern. Aus dem prinzipiellen Signalflussdiagramm in Fig. 4 erkennt man die Gesetzmässigkeit, wobei in diesem Fall von einem Bild mit 8×8 Koeffizienten ausgegangen wird. Gemäss den obigen allgemeinen Transformationsgleichungen werden die Speicherausgänge $A(i, j)$ durch ein logisches Verknüpfungsnetz mit den Speichereingängen $E(i, j)$ verbunden.

Die mit Kreisen bezeichneten Koeffizienten $A(0,0)$, $A(4,0)$, $A(0,4)$, $A(4,4)$ werden mit den ebenfalls durch Kreise bezeichneten Koeffizienten $E(0,0)$, $E(1,0)$, $E(0,1)$, $E(1,1)$ verbunden. Das entsprechende gilt für die durch Vierecke und Dreiecke gekennzeichneten Koeffizienten. Die Gesetzmässigkeit des Verknüpfungsnetzes wird aus Fig. 5 deutlich, in der ein Teil des Schaltbildes dargestellt ist.

Gegenüber der eindimensionalen Transformation ist die Anzahl der Speicherzellen pro Musterelement gleich geblieben, während sich die Zahl der Gatter verdoppelt hat. Bei $N \times N = 8 \times 8 = 64$ Musterelementen mit jeweils $m = 6$ Bit werden daher 384 Speicherzellen und 768 Gatter benötigt. Der Zeitverbrauch durch das Verknüpfungsnetz beträgt pro Umlauf zwei Gatterschaltzeiten.

Beispiele für die Translationsinvarianz der erfindungsgemässen Transformation werden in Fig. 6 für ein binäres Muster und in Fig. 7 für ein Graustufen-Muster gezeigt. Die transformierten Koeffizienten sind jeweils von der Verschiebung unbeeinflusst.

Ein spezielles Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Fig. 8 - 14 nachfolgend beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 8 ein Blockschaltbild zum Mustervergleich mit nichtlinearen translationsinvarianten Transformationen
- Fig. 9 ein Beispiel für eine Suchfeldeinteilung mit 77 Suchfeldern
- Fig. 10 ein Beispiel für eine Suchfeldeinteilung mit 15 Suchfeldern
- Fig. 11 die Koeffizienten des zu suchenden Musters und die Koeffizienten des transformierten Musters
- Fig. 12 das aktuelle Gesamtbild
- Fig. 13 das aktuelle Gesamtbild mit 15 überlappenden Suchfeldern
- Fig. 14 die Suchfelderergebnisse und die Positionsbestimmung.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Erkennung und Positionsbestimmung von gesuchten Mustern in ein- und zweidimensionalen Datenmengen. Dies soll anhand eines Bildverarbeitungsbeispiels näher erläutert werden. Die Vorgehensweise gilt für alle nichtlinearen translationsinvarianten Transformationen und ist in Fig. 8 als Blockschaltbild dargestellt.

Wir unterscheiden 3 Phasen:

1. Transformation und Klassifizierung mit dem Ziel der Auswahl charakteristischer Koeffizienten;
2. Transformation und Koeffizientenvergleich mit dem Ziel der Entscheidung bezüglich der Musterentdeckung;
3. Logische Verknüpfung der Entscheidung der einzelnen Suchfelder mit dem Ziel der Positionsbestimmung des gesuchten Musters.

- Zu 1. Die Auswahl der Koeffizienten erfolgt in den meisten Anwendungsfällen Off-line, so dass auch aufwendige Klassifizierungsalgorithmen eingesetzt werden können. Diese sind besonders bei Luftbildern von Vorteil, wenn im Musterbild neben der gesuchten Musterstruktur noch andere Strukturen vorhanden sind, die die Erkennbarkeit der charakteristischen strukturspezifischen Koeffizienten des gesuchten Musters verschlechtern.
- Zu 2. Nach der Analog-/Digitalwandlung wird das aktuelle Bild entsprechend der vorher festgelegten Suchfeldeinteilung transformiert. Zwei Beispiele für Suchfeldeinteilungen sind in den Fig. 9 und 10 zu sehen. Bei der Suchfeldeinteilung von Fig. 10 müssen also 15 Transformationen mit jeweils 128 x 128 Bildpunkten durchgeführt werden. Anschliessend werden die ausgewählten Musterkoeffizienten mit den zugeordneten Ergebniskoeffizienten aller Suchfelder verglichen, indem ein Distanzmaß berechnet wird. Liegt die berechnete Distanz unterhalb eines vorher festgelegten Schwellwertes, so ist das gesuchte Muster in dem betreffenden Suchfeld, dem dann eine 1 zugeordnet wird. Im anderen Fall wird dem Suchfeld eine 0 zugeordnet. In der so berechneten Entscheidungsmatrix treten also nur die Zahlen 0 und 1 auf.
- Zu 3. Zur Positionsbestimmung wird die Entscheidungsmatrix ausgewertet, wobei es mehrere Fälle zu unterscheiden gilt.
- a) Nur eine 1 vorhanden:
Das Zielfeld ist das vollständige zugeordnete Suchfeld

- b) Mehrere benachbarte 1 vorhanden:
Das Zielfeld ist das überlappende Gebiet der zugeordneten Suchfelder
- c) Mehrere nicht benachbarte 1 vorhanden:
Das Ergebnis wird zurückgewiesen oder es werden mehrere Zielfelder bestimmt, falls mehrere gleiche Muster im Bild erwartet werden.

Die Wirkungsweise wird im folgenden an einem konkreten Beispiel mit binären Mustern erläutert.

Die erste Phase ist aus Fig. 11 ersichtlich, in der das zu suchende Muster, das transformierte Muster und die ausgewählten Vergleichskoeffizienten dargestellt sind. In der zweiten Phase soll das aktuelle Gesamtbild in Fig. 12 auf das Vorhandensein des gesuchten Musters überprüft werden. Die Einteilung des aktuellen Musters in 15 einander überlappende Suchfelder wird aus Fig. 13 deutlich. Die anschliessend berechnete Distanzmatrix sowie die Entscheidungsmatrix ist in Fig. 14 dargestellt.

Das Ergebnis der dritten Phase ist ebenfalls in Fig. 14 abgebildet. Das Zielfeld (gestrichelt gekennzeichnet) ist das gemeinsame Gebiet von Suchfeld 8 und Suchfeld 9.

22. März 1978
PaL/Ht.

909839/0580

2813157

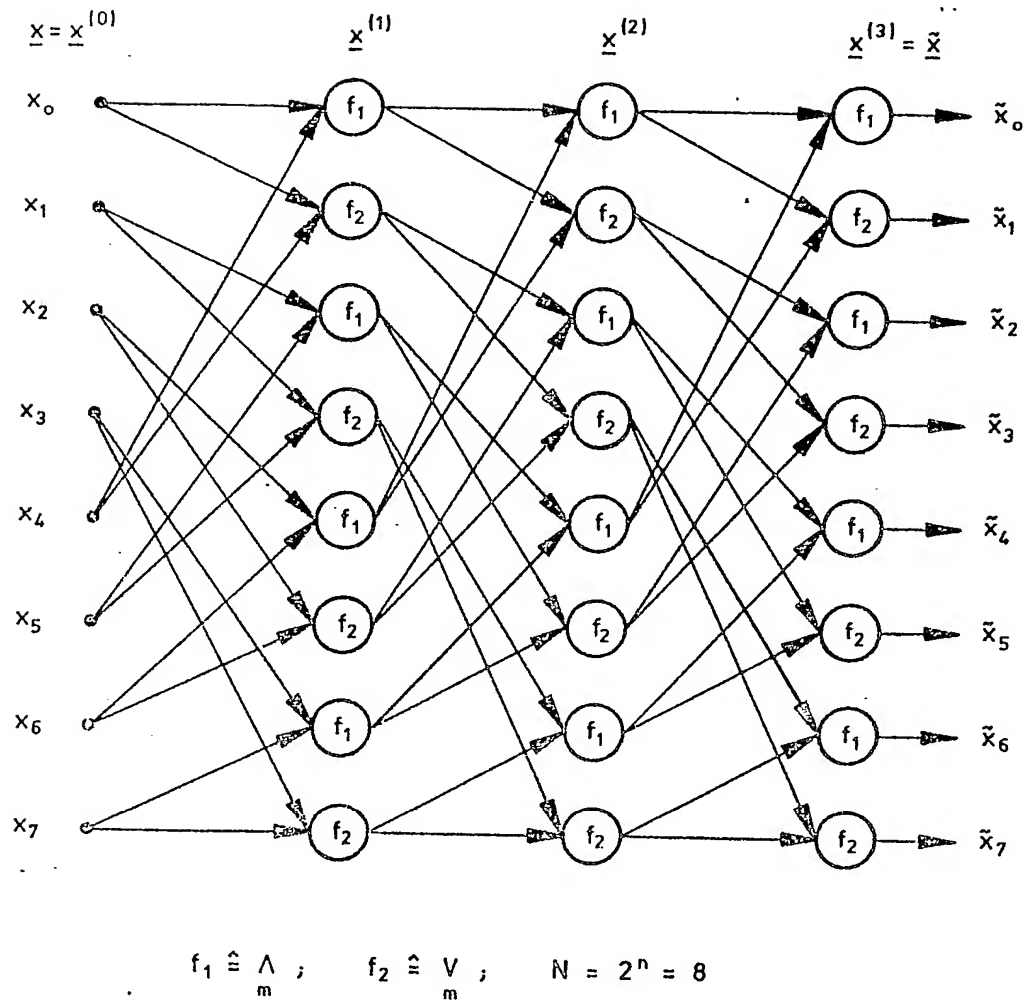


Fig. 1: Signalflußdiagramm der erfindungsgemässen ein-dimensionalen Transformation

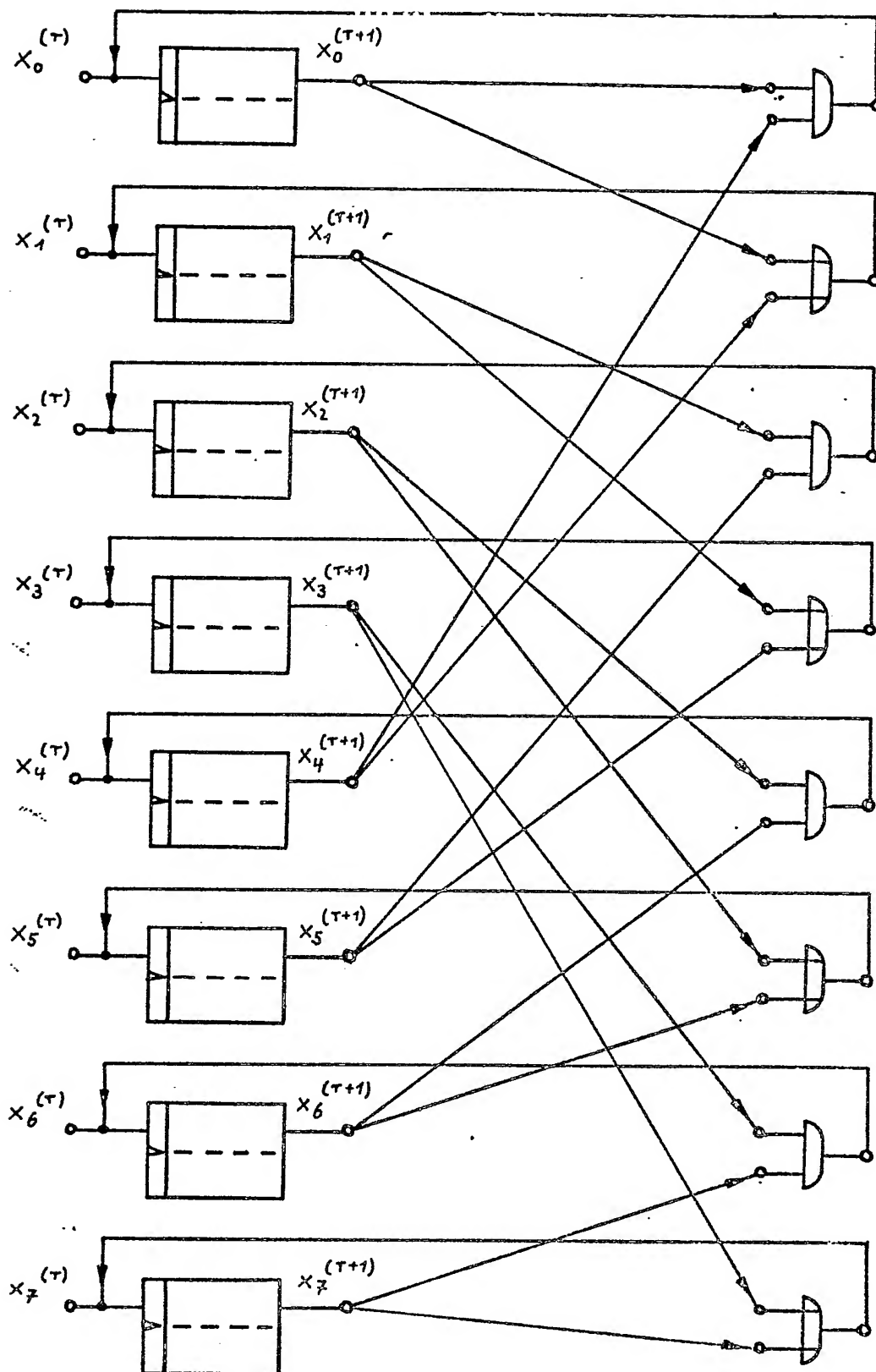


Fig. 2: Schaltbild der erfindungsgemässen ein-dimensionalen Transformation (N=8)

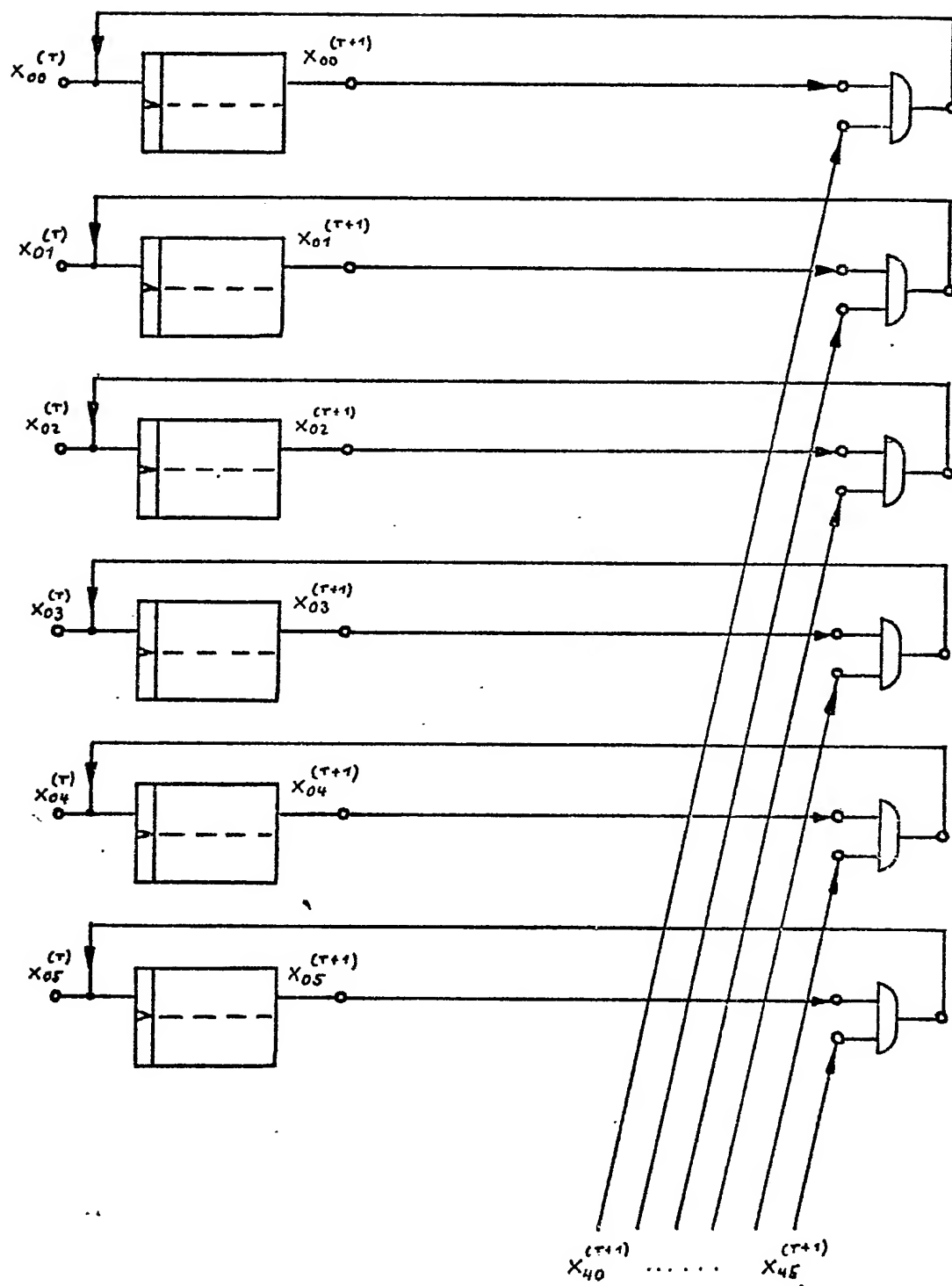


Fig. 3: Schaltbild der Verbindung zweier Musterelemente bei einer Auflösung von 6 Bit

- 21 -

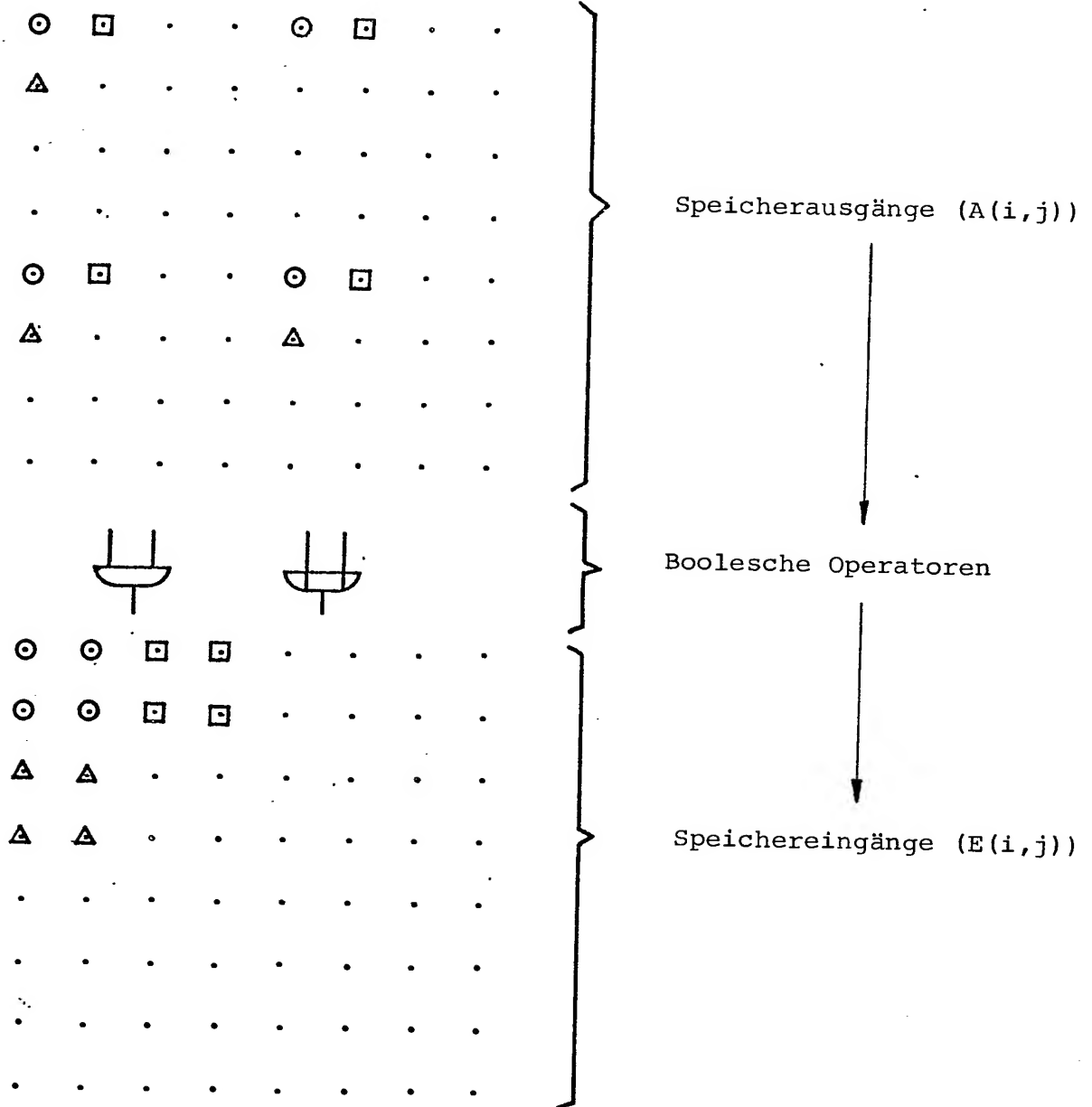


Fig. 4: Prinzipielles Signalflußdiagramm der erfindungsgemässen zwei-dimensionalen Transformation

-22-

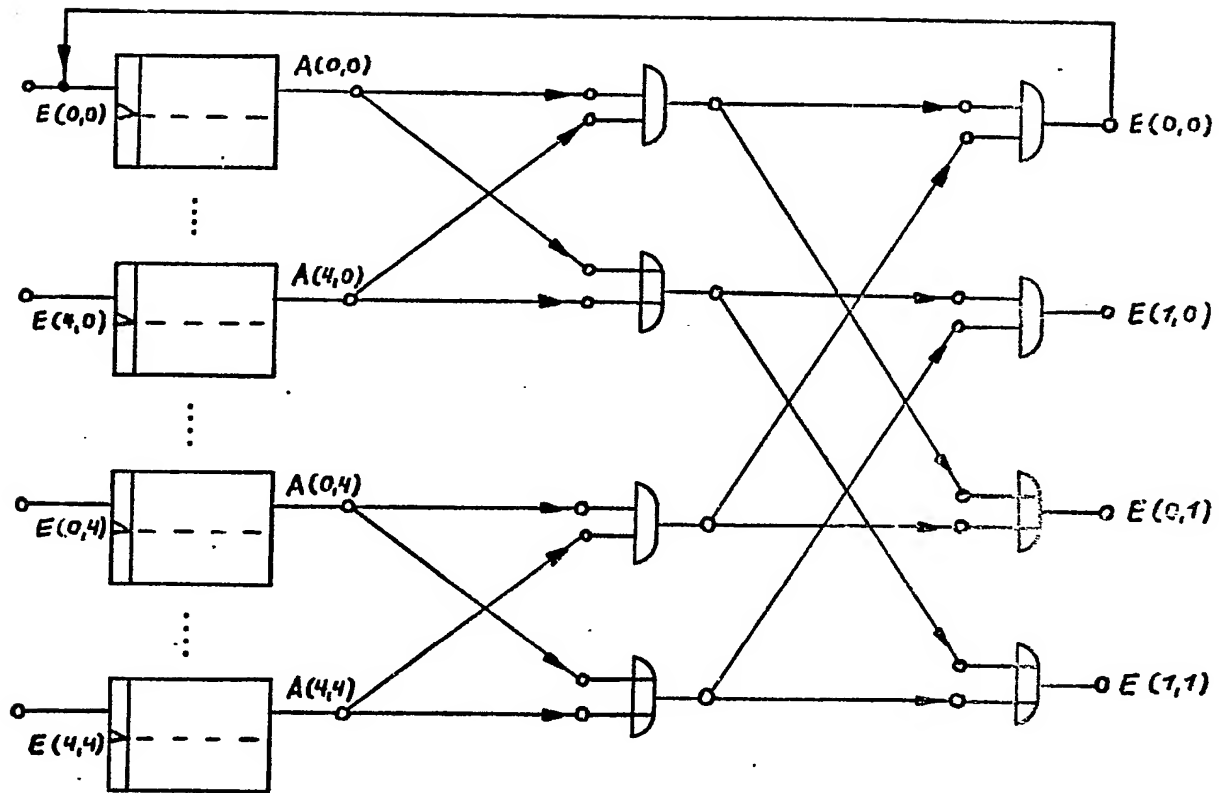
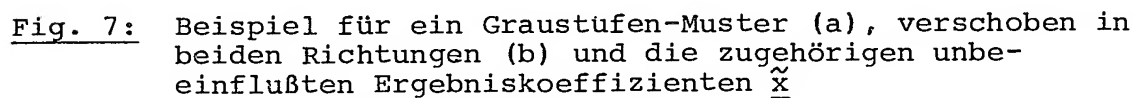
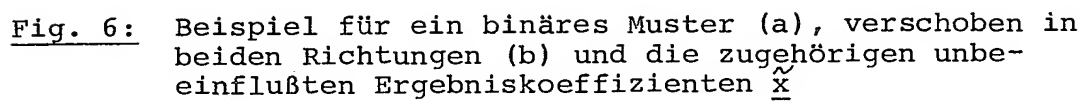


Fig. 5: Ein Teil des Schaltbildes der erfindungsgemässen zwei-dimensionalen Transformation (bezogen auf 8 x 8 Musterelemente)



-24-

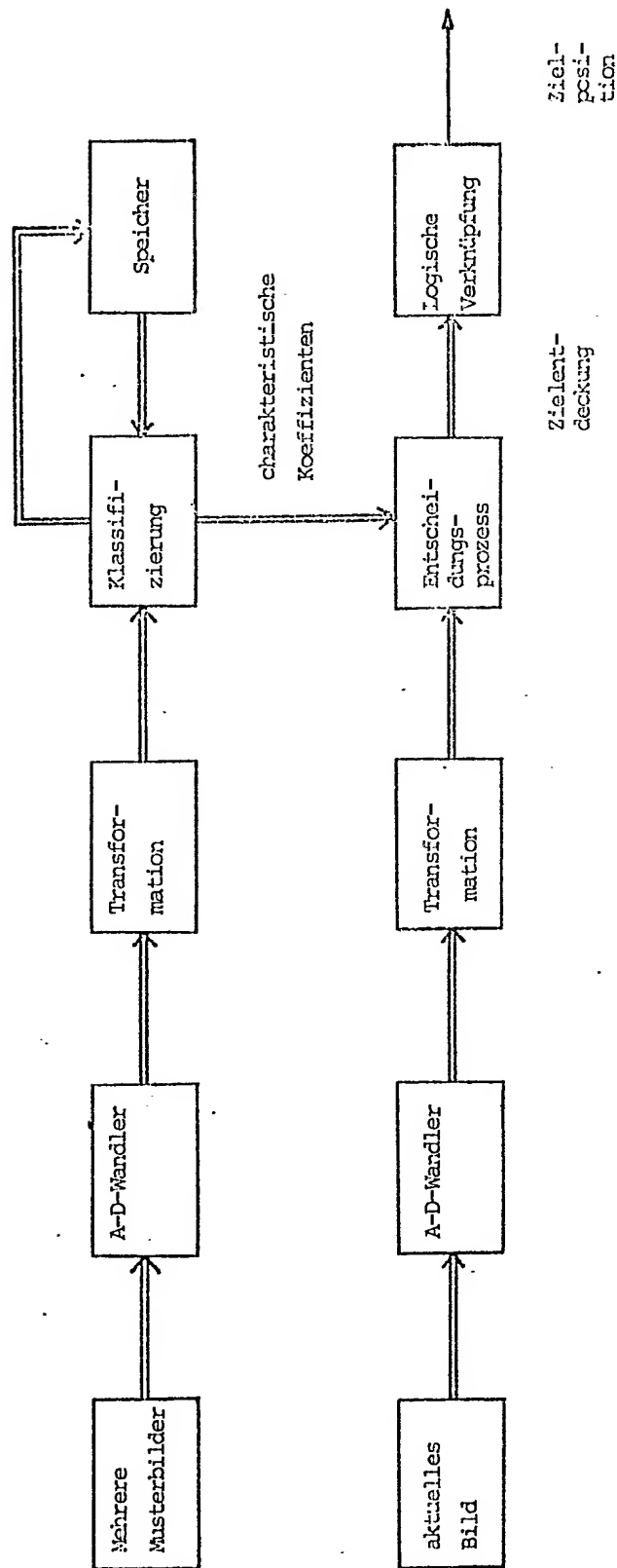


Fig. 8: Blockschaltbild zum Mustervergleich mit nichtlinearen translationsinvarianten Transformationen

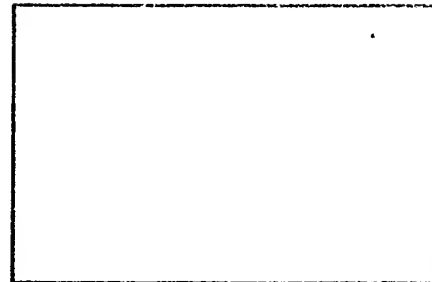
-25-

64 x 64 Bildpunkte

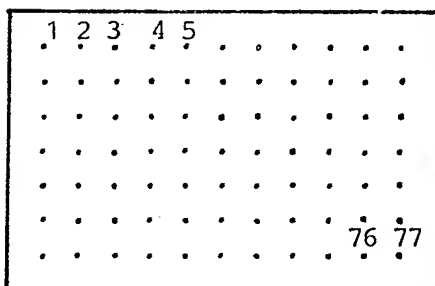
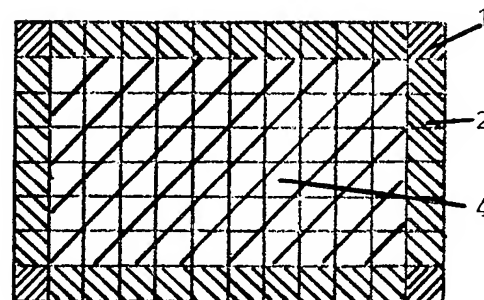


Suchfeld

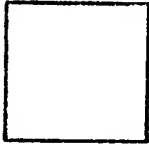
384 Bildpunkte

256
Bildpunkte

Gesamtbild

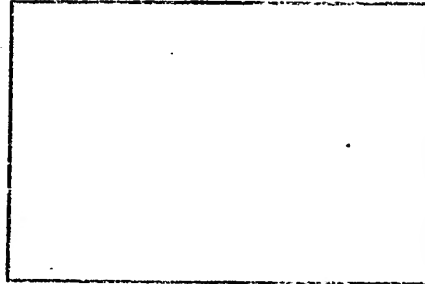
Mittelpunkte von
77 SuchfeldernÜberdeckungshäufigkeit
der SuchfelderFig. 9: Beispiel für eine Suchfeldeinteilung mit 77 Suchfeldern

128 x 128 Bildpunkte



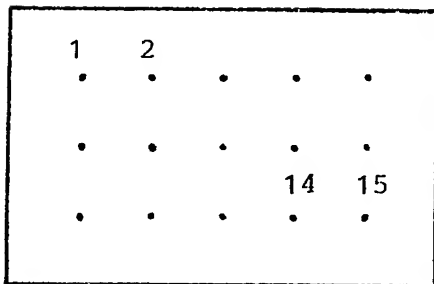
Suchfeld

384 Bildpunkte

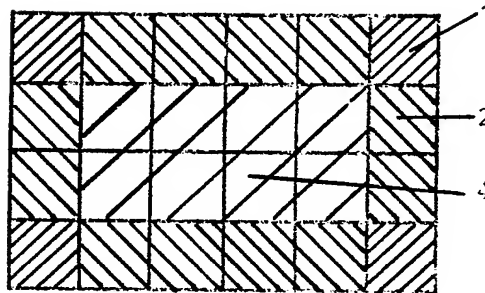


256
Bildpunkte

Gesamtbild



Mittelpunkte von
15 Suchfeldern



Überdeckungshäufigkeit
der Suchfelder

Fig. 10: Beispiel für eine Suchfeldeinteilung mit 15 Suchfeldern

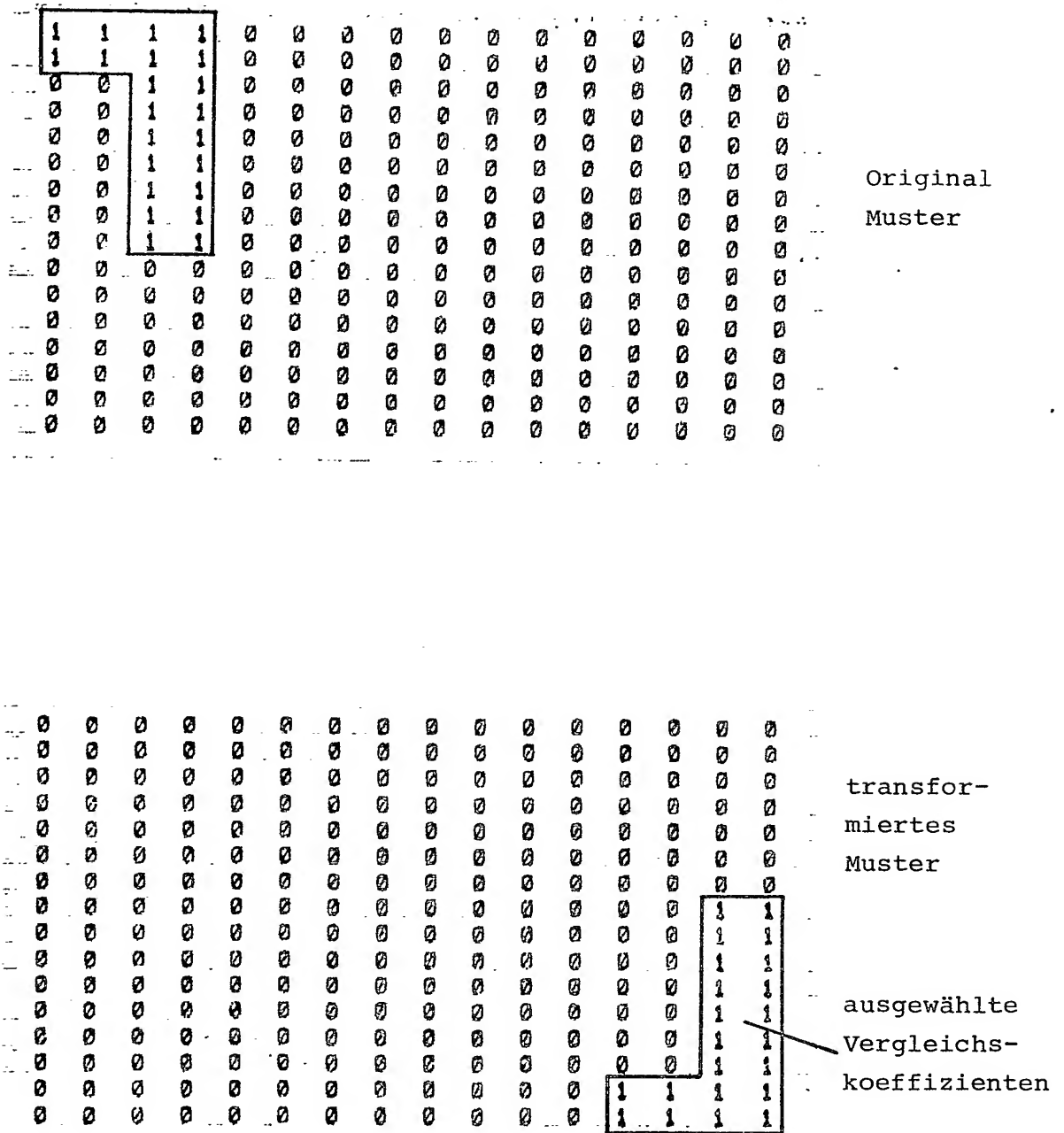


Fig. 11: Koeffizienten des zu suchenden Musters und Koeffizienten des transformierten Musters

909839/0580

ORIGINAL INSPECTED

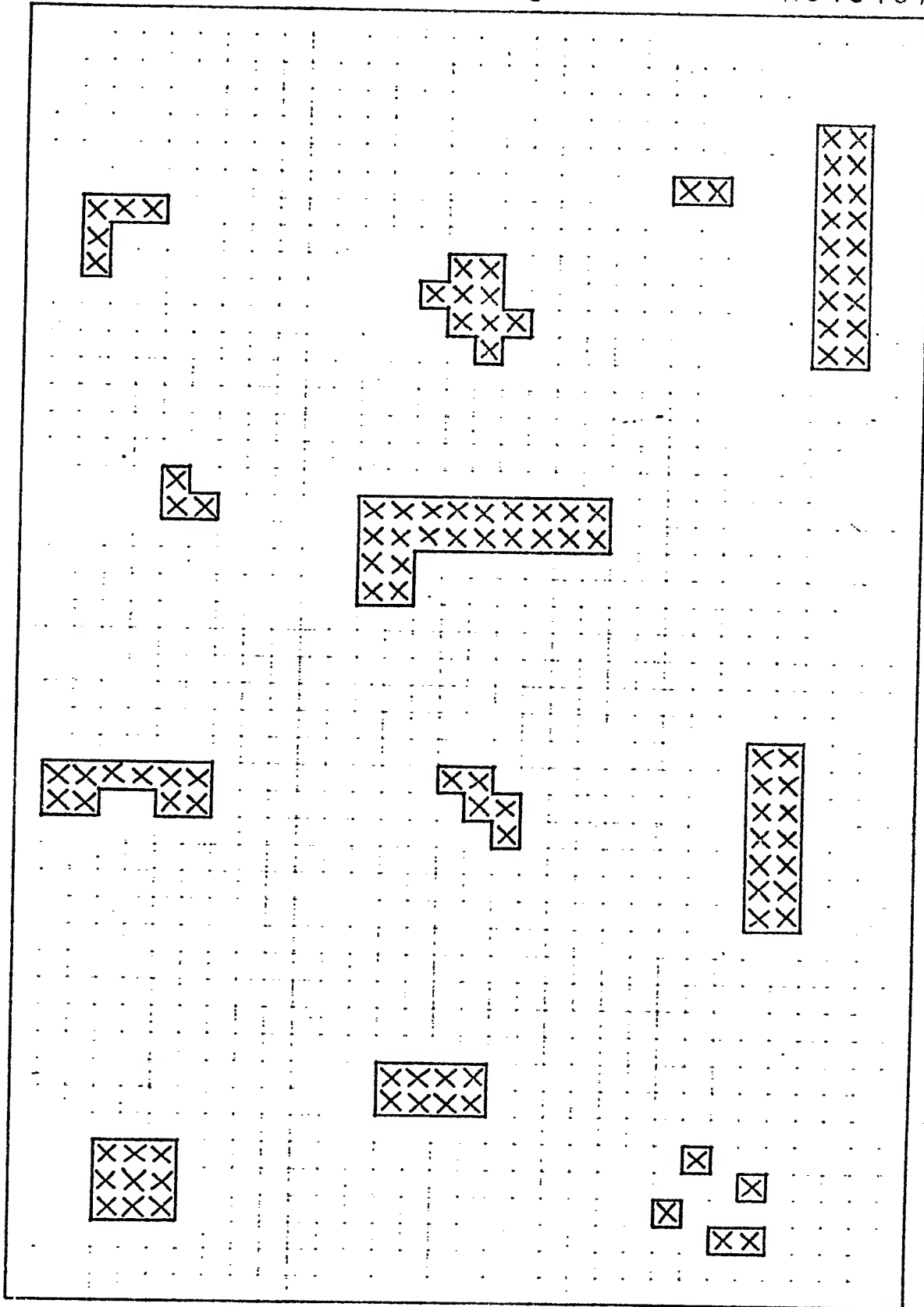


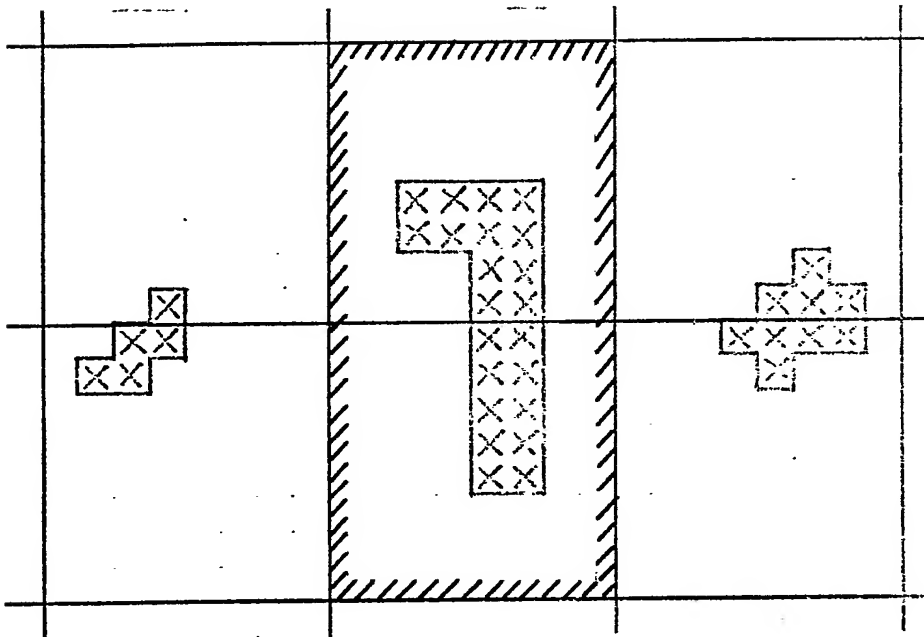
Fig. 12: Aktuelles Gesamtbild

12	8	5	11	14
14	13	0	0	13
13	10	6	6	10

Distanzmatrix der 15 Suchfelder

0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	0	0	0	0

Entscheidungsmatrix der 15 Suchfelder



Das gesuchte Muster liegt im gemeinsamen Gebiet von Suchfeld 8 und Suchfeld 9

Fig. 14: Suchfeldergebnisse und Positionsbestimmung